



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

**PŮDNÍ HYDROGELY FUNGUJÍCÍ NA PRINCIPU ŘÍZENÉHO
UVOLŇOVÁNÍ**

SOIL HYDROGELS BASED ON THE PRINCIPLE OF CONTROLLED RELEASE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Viktória Macuráková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Romana Kratochvílová

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1149/2016
Ústav: Ústav fyzikální a spotřební chemie
Studentka: **Viktória Macuráková**
Studijní program: Chemie a chemické technologie
Studijní obor: Chemie pro medicínské aplikace
Vedoucí práce: **Ing. Romana Kratochvílová**
Akademický rok: 2016/17

Název bakalářské práce:

Půdní hydrogely fungující na principu řízeného uvolňování

Zadání bakalářské práce zadání:

- 1) Zpracování literární rešerše na téma řízené uvolňování látek z hydrogelových nosičů
- 2) Porovnání možnosti uplatnění mechanismů řízeného uvolňování v zemědělské praxi
- 3) Praktické ověření schopnosti hydrogelů řízeně uvolňovat hnojiva do půdy

Termín odevzdání bakalářské práce: 19.5.2017

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Viktória Macuráková
student(ka)

Ing. Romana Kratochvílová
vedoucí práce

prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2017

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca je zameraná na pôdne hydrogély, ktoré fungujú na princípe kontrolovaného uvoľňovania. Cieľom bola rešerš na tému uvoľňovania látok a praktické využitie hydrogélů v poľnohospodárskej praxi. V práci sme sa zamerali na vplyv humínových látok a priemyselného hnojiva NPK na množstvo uvoľnených látok z hydrogélů. Pri zisťovaní týchto údajov sa využili rôzne metódy ako pH-metria, konduktometria, spektrofotometria a chromatografia a poznatky nielen z analytickej ale aj makromolekulovej chémie.

Experimentálne sa zistilo, že obsah lignohumátu sodného nemá vplyv na rýchlosť uvoľňovania draslíka a fosforu do pôdy. Hydrogél v ktorom sa nachádzalo vyššie množstvo hnojiva NPK a isté množstvo lignohumátu, uvoľnil zo svojej štruktúry oveľa väčšie množstvo iónov ako hydrogél bez hnojiva NPK s približne rovnakým množstvom lignohumátu.

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on soil hydrogels, which operate on the principle of controlled release. The aim of the research was on the release of substances, and the practical use of hydrogels in agricultural practice. At work, we focused on the effect of humic substances and the quantities of the substances of the fertilizer NPK of hydrogel. Querying this data will use a variety of methods such as pH-metry, conductometry, spectrophotometry and chromatography and knowledge not only of the analysis but also the macromolecular chemistry.

Experiment it was found that the content of sodium lignohumate does not affect the rate of release of potassium and phosphorus into the soil. Hydrogel which is located above the quantity of NPK fertilizer and a certain number of lignohumate released from its structures much larger amounts of ions such as Hydrogel without fertilizer NPK with approximately the same amount of lignohumate.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

hydrogél, huminové látky, uvoľňovanie látok

KEY WORDS

hydrogel, humic matters, release of substances

MACURÁKOVÁ, V. *Půdní hydrogely fungující na principu řízeného uvolňování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2017. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Romana Kratochvílová.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracovala samostatne a všetky použité literárne zdroje som správne a úplne citovala. Bakalárska práca je z hľadiska obsahu majetkom Fakulty chemické VUT v Brně a môže byť využitá ku komerčným účelom iba so súhlasom vedúceho bakalárskej práce a dekana FCH VUT.

.....

podpis študenta

Pod'akovanie

Týmto by som rada poďakovala vedúcej mojej bakalárskej práce Ing. Romane Kratochvílovej za jej pomoc, rady a usmerňovanie pri vypracovaní práce.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| 1. Úvod | 7 |
| 2. Teoretická časť | 8 |
| 2.1. Humínové látky | 8 |
| 2.1.1. Zloženie a štruktúra | 8 |
| 2.1.2. Výskyt a využitie | 9 |
| 2.1.3. Funkcia humínových látok a ich použitie ako hnojivo | 10 |
| 2.2. Makromolekulové látky | 10 |
| 2.2.1. Polyakryláty | 11 |
| 2.2.2. Gély | 12 |
| 2.2.2.1. Vznik a vlastnosti | 13 |
| 2.2.2.2. Napučanie | 13 |
| 2.2.2.3. Delenie | 13 |
| 2.3. Polyméry v poľnohospodárstve | 14 |
| 2.3.1. Hydrogély | 14 |
| 2.3.1.1. Superabsorpčné polyméry | 15 |
| 2.3.2. Kontrolované uvoľňovanie hnojív | 15 |
| 3. Súčasný stav riešenej problematiky | 17 |
| 4. Experimentálna časť | 20 |
| 4.1. Prístroje použité pri meraní | 20 |
| 4.2. Použité chemikálie | 20 |
| 4.3. Metodická časť | 20 |
| 4.3.1. Postupné uvoľňovanie | 20 |
| 5. Výsledky a diskusia | 21 |
| 5.1. Meranie pH | 21 |
| 5.2. Meranie vodivosti | 21 |
| 5.3. UV/VIS spektrofotometria | 22 |
| 5.4. ICP-OES | 24 |
| 5.5. Iónová chromatografia | 25 |
| 6. Záver | 28 |
| 7. Zoznam použitej literatúry | 29 |
| 8. Zoznam použitých skratiek a symbolov | 33 |
| 8.1. Zoznam použitých skratiek | 33 |

| | | |
|-----------|----------------------------------|-----------|
| 8.2. | Zoznam použitých symbolov | 33 |
| 9. | Prílohy | 34 |
| 9.1. | Použité prístroje | 34 |
| 9.2. | Vzorky použitých xerogélov | 36 |

1. ÚVOD

Humínové látky sú látky prírodného charakteru, ktoré definujeme ako zmes amorfných a polydisperzných zlúčenín žltej až hnedočiernej farby. Pochádzajú z rozkladu organických častí v procese humifikácie, ktorá zahŕňa množstvo biochemických reakcií. Avšak molekulová štruktúra humínových látok a proces ich vzniku je ešte stále nejasný. Napriek týmto faktom sa humínové látky aplikujú v rôznych oblastiach ako poľnohospodárstvo, priemysel, životné prostredie a tak isto aj v biomedicíne. V pôde slúžia ako zdroj energie pre organizmy, ktoré v nej žijú a plnia v nej rôzne funkcie, ktoré sú pre rastlinu nevyhnutné. Ako je známe, zosietené polyméry sú schopné udržať vo svojej štruktúre vodu a obecné sa tieto látky nazývajú hydrogély. Majú schopnosť zvýšiť svoju hmotnosť a objem o niekoľkokrát viac ako bola ich pôvodná forma. S obľubou sa preto využívajú v rôznych výskumných odvetviach a stávajú sa jednou z najzaujímavejších tém v oblasti medicíny a enviromentalistiky. Jednou z hlavných sfér uplatnenia hydrogélův je aj poľnohospodárstvo, pretože si rastlina s hydrogélom v pôde dokáže sama určovať príjem vody a v nej rozpustené živiny.

Aj táto bakalárska práca sa venuje skúmaniu niektorých vlastností hydrogélův s prídavkom humínových kyselín, konkrétne lignohumátu sodného. V experimentálnej časti sa zisťovalo množstvo uvoľnených látok v rôznych časových obdobiach piatich rozdielnych hydrogélův s definovaným zložením. Okrem množstva, sa určovala aj ich presná koncentrácia po dobu piatich týždňův.

2. TEORETICKÁ ČASŤ

2.1. Humínové látky

Humínové zlúčeniny sú látky rôzneho pôvodu a vlastností, a reprezentujú skupinu vysokomolekulárnych a nízkomolekulových látok. Ide prevažne o organické látky, ktoré vznikli postupným rozkladom biomasy, konkrétne v procese humifikácie. Z toho vyplýva, že sa nachádzajú všade okolo nás, či už vo vode, pôde, rašeline, v hnedom uhlí a teda samozrejme aj v lignitoch, čo je najmladšie uhlie so zachovanou štruktúrou dreva [1].

2.1.1. Zloženie a štruktúra

Mnoho zo zložiek humusu sú heterogénne a majú relatívne vysokú stabilitu organických komplexov. Ich funkciou je dávať pôde štruktúru, určujú pórovitosť, majú schopnosť zadržať istú kapacitu vody a taktiež zabezpečujú výmenu iónov. Zistilo sa, že humínové látky sú zložené prevažne z uhlíka, kyslíka, vodíka, dusíka a síry v komplexoch uhlíkového reťazca [2]. HL sa delia na základe ich rozpustnosti v rôznych rozpúšťadlách na tri zložky: humínové kyseliny, fulvónové kyseliny a humín [3]. Každá zložka sa od seba líši chemickými, fyzikálnymi vlastnosťami a tak isto aj farbou (Obr. 1). Humínové a fulvónové kyseliny predstavujú časti humusu rozpustné v lúhoch, pričom humín predstavuje nerozpustný zvyšok. Aj napriek tomu, že štruktúru humínových látok ešte úplne nepoznáme je známe, že obsahuje hlavne funkčné skupiny karboxylové, fenolové, karbonylové, hydroxylové, amínové, amidové a alifatické. V dôsledku tejto polyfunkčnosti sú humínové látky jedným z najsilnejších chelatujúcich činidiel medzi prírodnými organickými látkami [3].

| Fulvónové kyseliny | | Humínové kyseliny | | Humín |
|--------------------|------------|-------------------|-------------|--------|
| Svetlo žltá | Žltá hnedá | Tmavo hnedá | Sivo-čierna | Čierna |

| | | | | |
|-------|---|----------------------------------|---|---------|
| 2,000 | | Zvyšovanie intenzity farby | | |
| 45% | | Zvyšovanie stupňa polymerizácie | | |
| 48% | → | Zvyšovanie molekulovej hmotnosti | → | 300,000 |
| 1,400 | | Zvyšovanie obsahu uhlíka | | 62% |
| | | Znižovanie obsahu kyslíka | | 30% |
| | | Znižovanie kyslosti | | 500 |
| | | Znižovanie stupňa rozpustnosti | | |

Obr. 1: Chemické vlastnosti huminových látok podľa Stevensona (1982) [4]

Humínové kyseliny sú najkvalitnejšou zložkou humusových látok. S vápnikom či horčíkom tvoria vo vode nerozpustné humáty, ktoré majú priaznivé účinky na technologické vlastnosti pôd. Celkovo, patria HK k zlúčeninám, ktoré majú veľkú molekulu. Ako už bolo spomínané, ich presné zloženie nie je známe, no ich základné prvkové zloženie je zhrnuté v tabuľke 1 [5]. Humínové kyseliny majú schopnosť rôznymi mechanizmami tvoriť väzby s iónmi, patria medzi ionomeniče. Taktiež majú schopnosť viazať kovy, pričom sa vytvoria nerozpustné

komplexy. Okrem nich, sú schopné viazať na seba aj iné toxické zlúčeniny, ako napríklad mykotoxíny, fytotoxíny, amoniak a iné [6].

Fulvokyseliny sú schopné výmeny kationov. Vysoké zastúpenie fulvokyselín v humuse je charakteristické pre pôdy, ktoré vznikli pod ihličnatými lesmi. Majú výrazne kyslý charakter a to znamená, že sú schopné minerálne rozkladať podiel pôdy. FK obsahujú menej uhlíka a dusíka oproti HK. Sú rozpustné vo vode, hydroxidoch a kyselinách, čo spôsobuje ich pohyblivosť v pôde. Ich elementárne zloženie je zobrazené v tabuľke 1 [6].

Humíny sú humínové látky pevne viazané na minerálny podiel pôdy a to predovšetkým na ílové minerály. Sú to teda chemicky rôznorodé látky, bohaté na minerálne zložky. Pri sledovaní vplyvu humínových látok na rastliny, rozlišujeme dva smery vplyvu. V prvom prípade je to vplyv HL na pôdu, na prostredie rastlín. Na druhej strane sa zaoberá priamym vplyvom HL na rastlinu, jej bunku a metabolizmus [5].

Tab. 1: Prvkové zloženie humínových látok [5]

| humínová látka | prvkové zloženie v % | | | |
|-------------------|----------------------|---------|-------|-------|
| | C | O | H | N |
| humínové kyseliny | 52–62 | 30–39 | 2,5–5 | 3–5 |
| fulvokyseliny | 45–48 | 43–48,5 | 5–6 | 0,5–2 |

2.1.2. Výskyt a využitie

V súčasnosti sa humínové látky využívajú predovšetkým v poľnohospodárstve, priemysle, životnom prostredí a medicíne. V poľnohospodárstve ovplyvňujú kvalitu a produktivitu pôdy, zlepšujú jej fyzikálne vlastnosti, obsah a úrodnosť pôdy. Vďaka tomu, sa používajú ako prídatky hnojív.

HK sa taktiež aplikujú do prípravy krmív pre živočíšnu výrobu vďaka ich pozitívnemu vplyvu na hmotnosť a vzrast dobytku. Majú celú radu aj iných kladných vlastností vo výžive zvierat a celkovo v živočíšnej výrobe. Zvyšujú dojivosť, znášku a liahnivosť vajec, znižujú úhyn hydiny, spotrebu antibiotík a ďalších liečiv, zlepšujú kondíciu a výkon koní, operenie a lietavosť vtákov. Okrem týchto vplyvov, HK optimalizujú tráviace pochody. Majú účinok na tráviaci systém – udržiavajú pH v optimálnom fyziologickom rozpätí, na činnosť bachora – ovplyvňujú štruktúru a rozvoj mikroorganizmov a redukujú nadbytočnú tvorbu NH_3 , na činnosť čriev – obmedzujú rast a množenie vírusov, parazitov a na pečeň – znižujú funkčnú záťaž pri premene amoniaku na močovinu [6].

V posledných rokoch sa zvýšil záujem o využívanie humínových látok v medicíne a biológii vďaka ich antivirálnym, protizápalovým, antibakteriálnym a iným účinkom. Istá časť HK sa vstrebáva do organizmu, čím sa zvýši energia a posilňujú imunitný systém a vyvolávajú detoxikačný účinok. Ďalšia časť ostane v črevách, kde sú humínové kyseliny schopné zastaviť hnačku a iné zažívacie problémy. HK ovplyvňujú stresové hormóny produkované nadobličkami a to tak, že nadbytočné množstvo hormónov na seba naviažu, čím sa nedostanú k bunkám a nemôžu

vyvolať zvýšenie ich činnosti. Fulvokyseliny majú protirakovinové účinky vďaka tomu, že aktívne pôsobia proti vírusom, ktoré môžu toto ochorenie vyvolať [7].

2.1.3. Funkcia humínových látok a ich použitie ako hnojivo

Keďže humínové látky majú vysokomolekulárnu aj nízkomolekulovú časť, každá z nich pôsobí na rastlinu inak. Vysokomolekulárna časť pozitívne pôsobí na fyziológiu rastliny, ale do jej bunkovej sústavy sa dostane len vďaka nízkomolekulárnej časti [9]. Taktiež v pôde slúžia ako zdroj energie pre organizmy, ktoré žijú v pôde, pretože nemajú možnosť získať energiu, ktorá vznikla fotosyntézou [10]. HL sú v pôde dôležité aj kvôli ich funkciám, ktoré plnia v pôde, konkrétne ide o akumuláciu, zásobovaciu, regulačnú a ochrannú funkciu [9] [10]. Humínové kyseliny zvyšujú aktivitu enzýmov a tá má za následok prosperujúci rast koreňového systému. Taktiež chránia rastliny proti oxidačnému poškodeniu a priamou inaktiváciou škodlivých voľných radikálov a tlmením energie ultrafialového svetla. Rastliny, ktoré sú ošetrované pomocou HK sa rýchlejšie prispôbujú rôznym podmienkam prostredia, lepšie odolávajú nepriaznivým vplyvom, chorobám, rýchlejšie rastú, obsahujú viac chlorofylu, niektorých vitamínov a živín [11].

Humínové kyseliny sa vyznačujú tromi vplyvmi, konkrétne fyzikálnym, chemickým a biologickým. *Fyzikálny vplyv* sa prejavuje tým, že sa podieľajú na fyzikálnej úprave štruktúry pôdy. Redukujú straty živín v ľahkých a piesočnatých pôdach a zároveň zlepšujú zvetrávanie v ťažkých pôdach a zadržiavajú vodu. Ztmavujú farbu pôdy a tým pomáha absorpcii slnečnej energie. *Chemický vplyv* sa prejavuje tým, že humínové kyseliny chemicky menia fixačné vlastnosti pôdy. Neutralizujú kyslé aj zásadité pôdy a regulujú hodnoty pôdnej reakcie. Zlepšujú a optimalizujú príjem živín a vody rastlinami. Udržujú vo vode rozpustné minerálne hnojivá v oblasti koreňovej zóny a zabraňujú ich vyplavovaniu. HK majú schopnosť zvyšovať využívanie dusíka rastlinami. *Biologický vplyv* sa prejavuje tým, že humínové kyseliny biologicky stimulujú rastliny a aktivitu mikroorganizmov. Zvyšujú vitamíny a minerály [5].

2.2. Makromolekulové látky

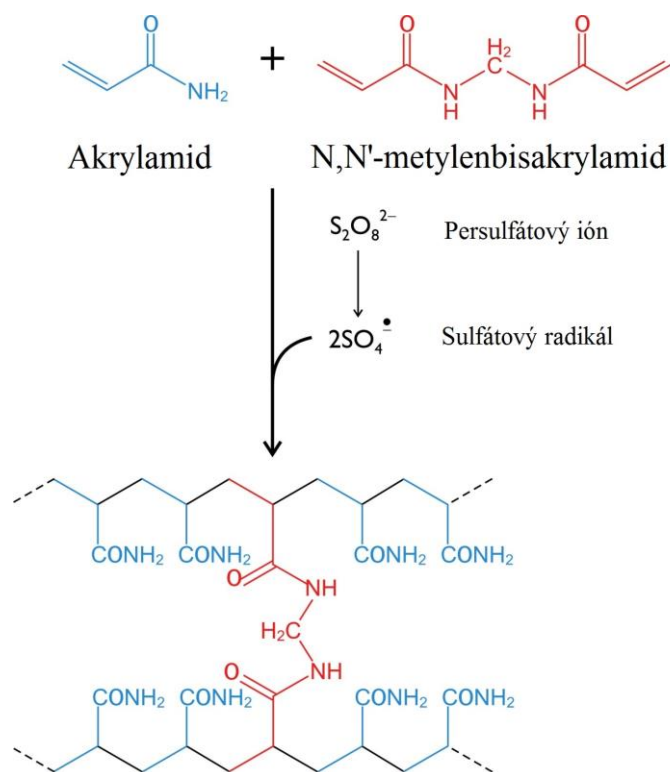
Polymér alebo makromolekulová látka je organická alebo anorganická zlúčenina vybudovaná zo stoviek až miliónov atómov spojených navzájom chemickými, obvykle kovalentnými väzbami. Majú pomerne vysoké relatívne mólové hmotnosti, ktoré sa pohybujú od desiatok tisíc až po niekoľko miliónov. Stavebná jednotka je mér – časť molekuly, zodpovedajúca nízkomolekulovej látke, z ktorej molekula vznikla. Štruktúrna jednotka je najmenšie zoskupenie atómov v molekule, ktoré sa periodicky opakuje. Makromolekulové laky sú obvykle zmesou polymérhomológov, to znamená, že sa skladajú z molekúl vybudovaných z tých istých stavebných jednotiek, líšiacich sa však ich počtom. Jednotlivé polymérhomológy sa od seba líšia polymeryzačným stupňom, ktorý udáva koľkokrát sa stavebná jednotka nachádza v reťazci polyméru. Typy polymérov delíme podľa ich chemickej príbuznosti na viacej druhov. *Termoplasty* sú polyméry, ktoré pri zahrievaní prechádzajú do plastického stavu, čo umožňuje ich spracovanie a formovanie v rôznych typoch lisov na výrobky. Zaraďujeme k nim polyolefíny, vinylové polyméry a iné. Ak sa polyméry nedajú tepelne spracovať účinkom tepla neprechádzajú do plastického stavu a zachovávajú si svoj tvar, nazývajú sa *termosety*. Ide o polyméry, ktoré sú silne presieťované – obsahujú toľko priečných väzieb medzi lineárnymi molekulami, že vy-

tvárajú trojrozmernú sieť. *Elastoméry* sú lineárne amorfné a nenasýtené makromolekulové látky, ktoré si zachovávajú elastické vlastnosti až do $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, niektoré druhy kaučukov ako sú polysiloxány až do $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ [12].

2.2.1. Polyakryláty

Do skupiny akrylátov patria polyméry kyseliny akrylovej a jej derivátov, najmä estery, soli, polyméry akrylamidu, akrylonitrilu a tiež polyméry kyseliny metakrylovej a taktiež aj jej deriváty. Kyseliny akrylová a metakrylová rovnako ako ich estery, soli a ostatné deriváty ľahko polymerizujú pôsobením iniciátorov, tepla a svetla, a preto sa musia pre dlhšie skladovanie stabilizovať a to napríklad hydrochinónom alebo pyrokatechínom. Estery kyseliny metakrylovej sú mierne toxické, estery kyseliny akrylovej sú ale oveľa jedovatejšie. Polyakrylová kyselina je nerozpustná vo svojom monoméri a uhlíkovodíkoch, rozpúšťa sa vo vode. Je typickým elektrolytom, ktorého viskozita vodných roztokov je vysoká. Používa sa ako zahusťovadlo, pomocná látka pre náterové hmoty, lepidlá. Polymetylmetakrylát je najpoužívanejší polymérový derivát metakrylovej kyseliny. Pripravuje sa radikálovou polymerizáciou v bloku alebo suspenzii. Získaný ataktický polymér nekryštalizuje, je číry, priehľadný a bezfarebný s veľmi dobrými optickými vlastnosťami. Je najodolnejší proti poveternostným vplyvom zo všetkých termoplastov, dá sa za tepla dobre tvarovať a má dobré mechanické a elektroizolačné vlastnosti. Hlavným predstaviteľom blokových akrylových polymérov je organické sklo na báze PMMA. Je to amorfná, dokonale číra látka, dobre odolávajúca poveternostným podmienkam. Prepúšťa 90–92 % ultrafialového svetla a viditeľného spektra [13].

Hydrogély sú špeciálne, silne hydrofilné, elastické a priehľadné akrylové kopolyméry. Ako hydrofilné monoméry sa používajú etylénglykolmetakrylát, trietylénglykolmetakrylát a na zosietenie etylénglykoldimetakrylát. Produkt je priestorovo zosietený gél, ktorý vďaka svojim glykolovým zvyškom v monoesteroch je silne hydrofilný. Tieto gély sú neutrálne, veľmi nestabilné látky, odolávajúce pôsobeniu enzýmov a iných biologických procesov [13]. Ako syntetický hydrogél sa taktiež používa aj polyakrylamid $(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_n$. Môže byť syntetizovaný pomocou bežne používaných metód v polymérnej chémii. Záleží to od druhu východiskových látok ako aj od druhu konečného polyméru [14] [15]. Lineárna forma polyakrylamidu je rozpustná vo vode, preto nemôže byť použitý ako hydrogél, ktorý absorbuje vodu. Naopak zosietené polyméry sú syntetizované ako hydrogély s použitím N,N'-metylén-bis-akrylamidom (Obr. 2). Tento spôsob má vyššiu odolnosť degradácie, preto sú stabilnejšie po dlhšiu dobu [14].



Obr. 2: Výroba zosieteného polyakrylamidu [14]

2.2.2. Gély

Gély sú koloidné systémy pevných látok, ktoré sú v kvapaline. Sú charakteristické trojrozmernou makromolekulovou sieťou, ktorá vytvára súvislú štruktúru, prestupujúce celým disperzným prostredím, v ktorom sa disperzné časti nemôžu nezávisle pohybovať. Disperzná sústava je termodynamický systém zložený z najmenej dvoch chemicky alebo fázovo odlišných druhov hmoty. Je teda tvorený minimálne dvoma fázami o rovnakom alebo rôznom zložení, pričom jedna fáza je v druhej rozptýlená – dispergovaná vo forme častíc o určitej veľkosti a tvaru [16] [17].

Makromolekulová sieť môže vzniknúť z lineárneho polyméru alebo jeho roztoku, ak sa medzi nimi vytvorí dostatočný počet spojov. Tieto spoje môžu vzniknúť chemickou reakciou a vtedy hovoríme o kovalentne sieťovaných géloch. Keď na polymér pôsobia fyzikálne sily (van der Waalsove, dipolárne, vodíkové väzby), vzniknú fyzikálne sieťované gély. Proces vzniku gélu sa volá gélovanie. Delíme ich na lyogély a xerogély, záleží od toho, či obsahujú alebo neobsahujú rozpúšťadlo. Vysušením lyogélu vznikne xerogél, pričom jeho objem je menší približne o objem odstráneného rozpúšťadla. Xerogél zase môžeme dať do pôvodného stavu lyogélu napučaním [18].

LYOGÉL → vysušenie → XEROGEL → napučanie → LYOGÉL

Prevod na xerogél je teda vratný a tým sa makromolekulárne gély líšia od gélov pripravovaných z lyofóbnych solov, ktorých sušenie je nevratné [18].

2.2.2.1. Vznik a vlastnosti

K vzniku gélu môže dochádzať z roztoku zmenou fyzikálneho stavu roztoku alebo v dôsledku chemickej reakcie, alebo v prípade reverzibilných gélov aj z pevného stavu – napučením už existujúceho xerogélu po pridaní rozpúšťadla. Gél je schopný odolávať tangenciálnemu napätiu až do istej hodnoty, pod ktorou sa správa ako elastické tuhé teleso. Gély s kovalentnými spojmi, ktoré obsahujú v jednotke objemu malý počet väzieb sú obvykle značne elastické. Čím je viac väzieb medzi reťazcami polyméru, tým menšia je možnosť zmeny tvaru makromolekuly a tým rigidnejšia je vzniknutá priestorová sieť. Niektoré gély s fyzikálnymi spojmi majú zreteľne tixotropné vlastnosti. Ak sú sily pútajúce pôvodné disperzné častice do sieťovej štruktúry veľmi slabé, je možno gél viac alebo menej prudkým pretrepaním previesť opäť na sol. Elektrická vodivosť gélov, ktorých disperzné prostredie obsahuje disociované nízkomolekulové elektrolyty, ostáva takmer rovnako vysoká ako v pôvodnom sole, z ktorého gél vznikol. Difúzia nízkomolekulových látok v gély je len o niečo menšia ako v odpovedajúcom sole napriek tomu, že pri gelovatení prudko rastie viskozita sústavy [19].

2.2.2.2. Napučanie

Pučanie je pohlcovanie nízkomolekulárneho rozpúšťadla vysokomolekulárnou látkou, ktorá zvyšuje svoju hmotnosť a naberá na objeme. Vzniká lyogél, v ktorom pohlcovaná kvapalina tvorí disperzné prostredie. Pučanie je samovoľný dej, ku ktorému môže dochádzať iba u reverzibilných gélov. Ak sa pučanie xerogélu v prebytku kvapaliny zastaví v štádiu lyogélu, tento proces sa nazýva obmedzené pučanie. V niektorých systémoch xerogél - rozpúšťadlo sa pučanie nezastavuje v štádiu lyogélu, ale za prítomnosti dostatočného množstva rozpúšťadla zanikajú styčné body a jednotlivé makromolekuly prechádzajú do roztoku - nastáva neobmedzené pučanie [19]. Vo väčšine technologických aplikáciách je napučanie polymérov a hydrogélov braný ako negatívny efekt, ale v poľnohospodárstve má značné výhody vďaka riadenému uvoľňovaniu živín a zlepšovaniu pôdy [20].

Stupeň napučania Q je definovaný ako hmotnosť kvapaliny pohltenej jednotkou suchého xerogélu, je možné stanoviť ho aj ako prírastok hmotnosti gélu vážením alebo meraním objemu pohltenej kvapaliny:

$$Q = \frac{M_r - M_0}{M_0} = \frac{\rho x V}{M_0}$$

M_r – hmotnosť napučaného gélu, M_0 – počiatočná hmotnosť gélu, ρ – hustota, V – objem pohltenej kvapaliny [19].

2.2.2.3. Delenie

Gély podľa ich správania sa vo vysušenom stave delíme na dve skupiny

- *Reverzibilné gély*

Gélovatenie je proces, pri ktorom sa spojovaním molekulárnych reťazcov v súvislú štruktúru vytvára a postupne spevňuje priestorová sieť. Miesta na ktorých sa pri styku reťazcov vytvárajú väzby sa nazývajú styčné body alebo uzly. Štruktúra gélu s chemickými väzbami je veľmi pevná. Späť na roztok by ich bolo možné previesť len odbúraním chemických väzieb, no vý-

sledný produkt by sa líšil od pôvodného polyméru, kvôli tomu, že nemôžeme očakávať, že by sa nezrušili iba tie väzby, ktoré vznikli počas gélovatenia. Fyzikálne sieťovanie môže prebiehať ako asociácia makromolekulových reťazcov alebo ako separácia submikroskopických fáz, amorfných alebo kryštalických. Začiatok gélovatenia môže byť spôsobený znížením afinity vysokomolekulárnej látky k rozpúšťadlu. Pri vzniku gélu často pozorujeme rovnobežné usporiadanie jednotlivých častí molekúl, ktoré spolu interagujú [19].

- *Ireverzibilné gély*

Majú vo vysušenom stave približne rovnaký objem ako pôvodný lyogél, ale sú porézne. Pri styku s disperzným prostredím sú síce schopné určité množstvo kvapaliny opätovne sorbovať, ale do pôvodného stavu sa nevracajú. Vznikajú gélovaním lyofóbných solov [19].

2.3. Polyméry v poľnohospodárstve

Polymérne materiály hrajú dôležitú úlohu v poľnohospodárstve aby zvýšili mechanizáciu farmárčenia, rast plodín a aby boli odolné aj pri nepriaznivom počasí. Využívajú sa najmä na plantážach na zvýšenie kvality rastlín v čo najkratšom čase za použitia čo najmenšieho priestoru a najnižších nákladov. Môžu sa používať v rôznych rastových fázach vývoja rastliny – pri klíčení, raste, kvitnutí alebo pri produkcii plodov. Taktiež môžu byť aplikované na povrch pôdy alebo priamo ku koreňom počas výsevu, čím sa zlepšia aj fyzikálne vlastnosti pôdy. Existuje veľa možností prírodných a syntetických materiálov, ktorú sú pridávané do pôdy kvôli rekultivácii a zlepšeniu zloženia a štruktúry pôdy [21].

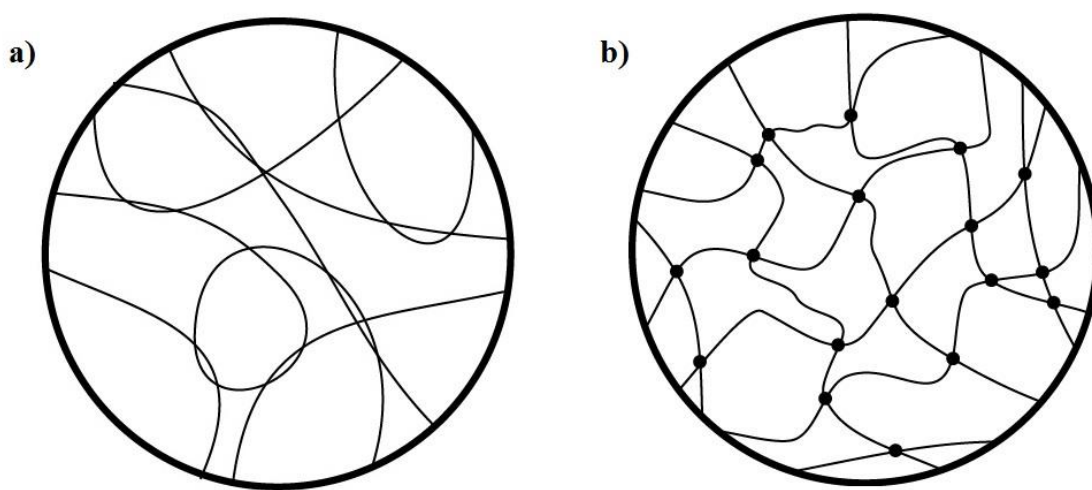
- *Prírodné organické látky* – patrí sem hnoj, zvyšky plodín, organický kompost, piliny a rôzne iné materiály ako napríklad potraviny či textil. Používajú sa na zvýšenie infiltrácie, podporujú zhukovanie, poskytujú substrátu biologickú aktivitu, zlepšujú zvetrávanie pôdy. Použitím týchto materiálov za účelom zlepšenia vlastností pôdy, z časti rieši aj problém, ako využiť odpadový materiál.
- *Minerálne materiály* – môžu zmeniť chemické alebo fyzikálne vlastnosti pôdy tým, že zvýšia nasýtenie pôdneho základu, zvýši sa flokulácia primárnych častíc a stabilizujú sa zhluky.
- *Syntetické polymérne materiály* – sú pripravené na produkciu špecifických fyzikálnych a chemických účinkov v pôde na zlepšenie výkonnosti poľnohospodárstva.
 - Vo vode rozpustné polyméry – sú lineárne rozpustné hydrofilné alebo iónové polyméry používané ako zmäčadlá, ktoré vedú k lepšej vodnej kapacite a vyššej stabilite pôdnych agregátov
 - Hydrogély – sú nerozpustné zosietené hydrofilné polyméry, ktoré majú schopnosť udržať až niekoľko násobne väčšie množstvo vody ako je ich vlastná hmotnosť [21].

2.3.1. Hydrogély

Hydrogély boli vyvinuté, aby zlepšili fyzikálne vlastnosti pôdy ako napríklad – aby zvýšili kapacitu zadržiavania vody v pôde, zvýšili efektívnosť využitia vody, ktorá sa zachytí na korene, znížili frekvenciu zavlažovania, dispozíciu k stuhnutiu pôdy či eróziu pôdy. Hydrogély sú charakteristické záporným, kladným alebo neutrálnym nábojom a boli objavené v oboch for-

mách – lineárnej aj zosietenej (Obr. 3). Náboj určuje ako bude reagovať s pôdou a rozpúšťadlom. Ílové zložky majú záporný náboj, ťažké kovy kladná náboj a ostatné minerálny, ktoré sa našli v pôde a voda majú buď kladný alebo záporný náboj [22].

V súčasnosti sa používajú hydrogély v podobe prášku alebo kryštálikov, ktoré po zaliatí napučnejú a ako už bolo spomínané, zväčšia svoj objem. Ich výhodou je, že v období sucha sa vedľa veľmi dobre postarať o rastlinu, dodávajú jej vodu a potrebné živiny. Vďaka tejto vlastnosti ovplyvňujú nielen samotnú rastlinu, ale tak isto sa starajú aj o pôdu, v ktorej je uložená. Využitie týchto hydrogelových prídavkov má široké spektrum. Tak ako ich môžeme pridať k stromom, ovocným stromom či okrasným rastlinám, tak isto majú aj využitie pri výsadbe izbových alebo balkónových rastlín [23].



Obr. 3: Lineárna a zosietená forma polyméru [24]

2.3.1.1. Superabsorpčné polyméry

Superabsorpčné polyméry majú trojrozmerné matrice tvorené lineárnym alebo rozvetveným hydrofilným polymérom, ktoré sú chemicky alebo fyzikálne zosietené a sú schopné absorbovať veľké množstvo vody a biologických tekutín. Roky sa ako superabsorpčné polyméry využívali polyakrylamid a kyselina polyakrylamidová, no tieto produkty na trhu nie sú biodegradovateľné. V súčasnosti rastie používanie polymérov, ktoré kladú dôraz na životné prostredie. Ich alternatívou sú prírodné polyméry najmä polysacharidy, prípadne sa použila ich kombinácia [20]. Preto sa využívajú superabsorpčné hydrogély na báze celulózy, ktoré sú úplne biodegradovateľné a biokompatibilné pre poľnohospodárske využitie [25]. Vďaka ich dobrým vlastnostiam sa využívajú nielen v poľnohospodárstve a pri čistení odpadových vôd, ale aj v zdravotníctve či ako obalový materiál potravín [20].

2.3.2. Kontrolované uvoľňovanie hnojív

Hnojivá s riadeným uvoľňovaním sú hnojivá, ktoré obsahujú výživné látky pre rastlinu vo forme a) *pomalého uvoľňovania* alebo b) *s postupným uvoľňovaním*. Kontrolované uvoľňovanie môže byť dosiahnuté s rôznymi chemickými alebo fyzikálnymi zmenami. Kontrolo-

vane uvoľňované hnojivá sú väčšinou granule rozpustných hnojív, ktoré sú obalené polopriepustnou membránou. Po aplikácii substrátu preniká do granule voda a živiny, ktoré sa postupne uvoľňujú cez obal, a tak dodávajú rastline potrebné látky. Rýchlosť uvoľňovania je ovplyvnená iba teplotou pôdy (čím vyššia teplota, tým rýchlejšie uvoľňovanie) a hrúbkou obalu [27] [28]. Existuje niekoľko mechanizmov, ktoré boli objasnené a opísali uvoľňovanie molekúl z polymérneho hydrogél, vrátane difúzie, pučaniu a chemického riadeného uvoľňovania. Riadené uvoľňovanie živín z biodegradovateľných hydrogél boli skúmané po celom svete. Takého uvoľňovanie živín zo superabsopčných hydrogél na báze polysacharidov ako nosičov, zlepšili funkčnú schopnosť živín, herbicídov, insekticídov a fungicídov, znížili náklady na spôsob aplikácie, vplyv toxicity na človeka a hlavne znížili znečistenie životného prostredia. Preto sú tieto systémy s riadeným uvoľňovaním živín podstatným riešením ako znižovať stratu živín po aplikácii, minimalizovať náklady a problémy životného prostredia. Pôda by vo všeobecnosti mala byť vhodne pripravená, nemala by obsahovať žiadne organické či anorganické nečistoty, ktoré by mohli zasahovať do rastu koreňov a tým uškodiť celej rastline. Z toho dôvodu sa musia kontrolovať vlastnosti pôdy. Jednou z nich je kontrola množstva živín, ktoré sa v nej nachádzajú. Najdôležitejšie prvky pre pestovanie sú draslík, fosfor, dusík a horčík, z mikroprvkov sú dôležité siera, železo, bór, mangán a iné. Vysoký obsah týchto látok nie sú absorbované cez korene. Preto sa začali študovať hydrogély ako nosiče pre riadené uvoľňovanie zlúčenín v pôde [20] [23].

- *Dusík* – podporuje celkový rast a vitalitu rastlín. Taktiež je veľmi dôležitý pri ovplyvňovaní farby rastlín. Pri nedostatku dusíka, má rastlina svetlú farbu a je menej odolný. Pri nadbytku sú zasa rastliny väčšie a menej odolné rôznej záťaži.
- *Fosfor* – je základný prvok pre podporu koreňového systému, preto je podstatný pri prvom výseve rastlín a je zložkou tzv. štartovacích hnojív.
- *Draslík* – pomáha rastlinám prekonávať „stresové“ situácie – veľké sucho alebo teplo, prípadne sa môže použiť na prezimovanie rastliny [23].

3. SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Keďže hnojivá sú vo všeobecnosti látky, ktoré slúžia na podporu života v pôde a prirodzenej úrodnosti, ktorá umožňuje dlhodobo dosahovať požadovanú produkciu, všeobecne ich rozdeľujeme do dvoch skupín a to na organické a anorganické (priemyselné) hnojivá. Ďalšie delenie je zhrnuté v tabuľke 2. Organické hnojivá predstavujú objemové hnojivá, ktoré sa považujú za základné hnojivá v záhradníctve a majú priaznivé účinky na úrodnosť pôdy. Zlepšujú biologické vlastnosti pôdy, obohacujú ju o uhlík, zlepšujú jej prevzdušnenie a taktiež umožňujú koreňom lepšie prenikať do pôdy. Výživovú hodnotu tohto druhu hnojív dopĺňame práve priemyselnými hnojivami, vďaka ich vysokému obsahu živín. Podľa prítomnosti druhu živín sa delia na jedno a viaczložkové. Jednozložkové môžeme rozdeliť na dusíkaté, fosforečné, draselné, horečnaté a vápenaté. Viaczložkové hnojivá môžu byť zase dvojité, ktoré obsahujú dve hlavné živiny (NP, NK, PK) alebo môžu obsahovať tri hlavné živiny (NPK). Ďalšie druhy hnojív, ktoré sa používajú v poľnohospodárstve a sú na prírodnej báze sú napríklad maštalný hnoj (zastúpenie jednotlivých prvkov závisí od druhu hospodárskeho zvieratá), močovka (dusíkato-draselné hnojivo s nízkym až zanedbateľným obsahom fosforu), rôzne komposty, zelené hnojivo či rašelina [29].

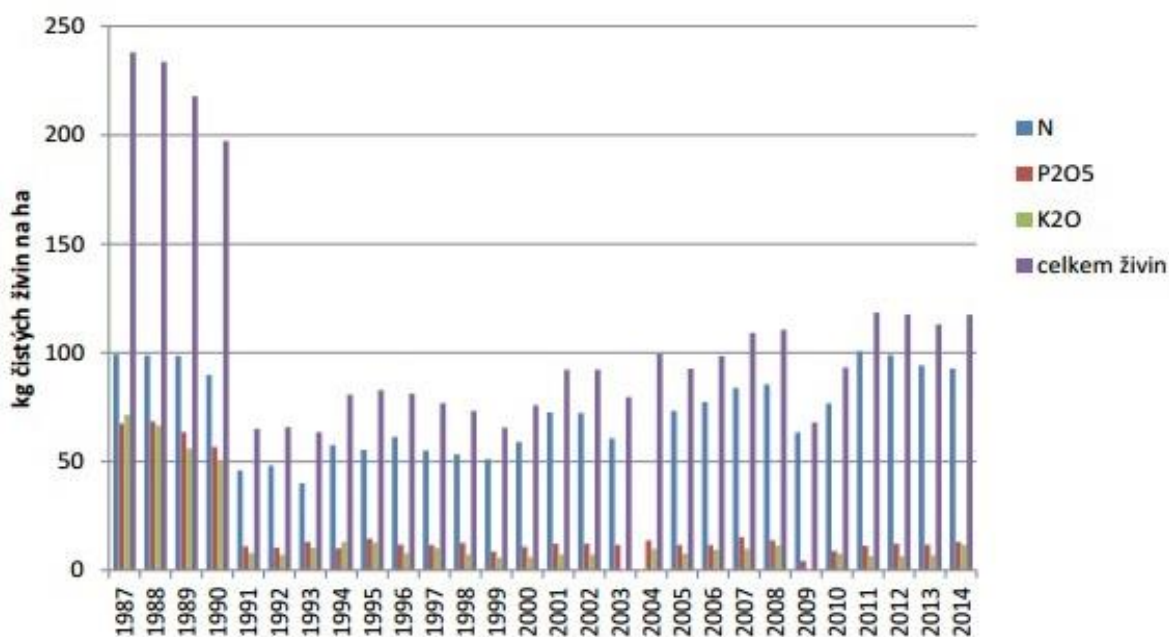
Tab. 2: Delenie hnojív [29]

| delenie podľa | skupina | |
|---------------|-------------|---------------|
| druhu | organické | |
| | minerálne | |
| | bakteriálne | |
| skupenstva | tuhé | práškové |
| | | granulové |
| | kvapalné | beztlakové |
| | | vysokotlakové |
| | | nízkotlakové |
| | plynné | |

Samozrejme, že hnojivá majú nielen pozitívny vplyv ale aj negatívny a to hlavne na životné prostredie. Hnojivá s vysokým obsahom dusíka môžu spôsobiť okyslenie pôdy a to má za následok zníženie živín v pôde. Vysoký obsah dusíka vyčerpáva kyslík z viacerých častí oceánu a tým znižuje šance na udržanie morskej fauny [30].

Najčastejšie skúmaným a využívaným hnojivom či už pri výsadbe v domácnostiach alebo priemyselnom poľnohospodárstve je hnojivo NPK. Na trhu sa vyskytuje aj jeho univerzálna verzia s obsahom: 11 % dusíka, 7 % fosforu a 7 % draslíka. Toto univerzálne hnojivo je použiteľné celoročne, môže sa podať pred siatím či vysádzaním rastlín, ale aj na prihnojovanie počas vegetácie [31]. Spotreba základných živín (NPK) v priemyselných hnojivách je jedným z najdôležitejších ukazovateľov záťaže prostredia v dôsledku poľnohospodárskej činnosti. Ako to môžeme vidieť na obrázku 4, ich spotreba nie je lineárna. Po roku 1987 sa používanie priemyselných hnojív postupne znižovalo a výrazný pokles ich užívania nastal v roku 1991. Postupom času dochádzalo ku kolísavej spotrebe, čo mohlo byť spôsobené zvyšovaním prí-

padne znižovaním cien hnojív alebo aktuálnej poľnohospodárskej či ekonomickej situácii. Opätovný nárast spotreby hnojív došlo v roku 2011 a od tohto obdobia sa celkové množstvo užívaných hnojív výrazne nemení [32].



Obr. 4: Spotreba minerálnych hnojív v Českej republike v rokoch 1987–2014 [32].

V roku 2015 bola celková spotreba čistých živín dodaných minerálnymi hnojivami 137,06 kg na 1 ha poľnohospodárskej pôdy, čo predstavuje rozdiel 19,63 kg (14,4 %) s predchádzajúcim rokom [33].

Hnojivo NPK existuje vo viacerých formách. Môže byť pevné (granulované, tyčinkovité) alebo tekuté. Čo sa týka pevných granulovaných hnojív, ich dlhodobú účinnosť zabezpečuje obalované jadro. Na trhu sa stále objavujú nové druhy obalov, ktoré umožnia hnojivám znížiť stratu pri postupnom uvoľňovaní látok. Materiály, ktoré sa najčastejšie používajú sú síra, vosky, polyetylén a polystyrén. Síra, ako obalový materiál, bola zvolená kvôli jej nízkym nákladom [34]. Experimentálne sa potvrdilo, že použitie polysulfón (PSF) ako hnojivo pre rozpustné hnojivá znižuje uvoľňovanie jednotlivých látok. Taktiež rýchlosť uvoľňovania z granúl klesá s poklesom pórovitosti obalov a zvyšovaním počtu polymérnych vrstiev. V inej štúdii sa tí istí vedci rozhodli vyhodnotiť možnosti použitia aj iných polymérnych materiálov ako obalov a porovnali použitie polysulfónového, polyakrylonitrilového (PAN) a acetylcelulóзовého (CA) obalu. Tie boli pripravené s rôznou degradáciou. Vo všetkých experimentoch boli pozorované rôzne selektivity obalov. Uvoľňovanie draslíka cez obaly z PSF a PAN bolo najpomalšie. Rovnakú tendenciu malo aj uvoľňovanie dusíka cez obaly z CA. Uvoľňovanie aktívnych zložiek hnojív bolo najpomalšie v prípade obalu PSF. Výsledky ďalej ukázali, že v prípade granúl obalovaných pomocou PAN (16% roztok), ktoré mali pórovitosť okolo 60 % sa z hnojiva uvoľnilo po štyroch hodinách 100 % NH_4^+ a P_2O_5 a 99,7 % K^+ po piatich hodinách, zatiaľ čo pri pórovitosti približne 49 % sa uvoľnilo po piatich hodinách 31,8 % NH_4^+ , 16,7 % P_2O_5 a 11,6 % K^+ [35].

Iné štúdie skúmali kombináciu organických hnojív humínových kyselín s prídavkami statkového hnoja a NPK. Samotné humínové kyseliny dokázali zvýšiť výťažnosť zŕn a celkovú sušinu oproti kontrolnej skupine o niekoľko desiatok percent. Najvyšší výnos zŕn mala kombinácia všetkých troch zložiek a optimálny výťažok skúmaných zŕn bol preukázaný pri kombinácii HK s NPK. Pri analýze pôdy sa zistilo, že oba organické zdroje hnojív v kombinácii s NPK zvyšujú obsah P a celkovú koncentráciu N skúmanej plodiny. Výsledky teda pri tomto pozorovaní uvoľňovania hnojív do pôdy preukázali, že pridanie HK má veľký potenciál na zlepšenie výťažku a fyzikálno-chemických a biologických vlastností pôdy [36].

Účinky minerálnych hnojív a organického hnoja sa skúmali aj na profile fosfolipidových mastných kyselín. Tento výskum zahŕňal deväť rôznych kombinácií hnojív: organické hnojivo, organické hnojivo s prídavkom NPK, NPK hnojivo, hnojivo NP, hnojivo NK, dusíkaté hnojivo, fosforečné hnojivo, draselné hnojivo a kontrolná pôda. Pôvodná pôda bola veľmi erodovaná, mala nízke pH s nízkym obsahom živín. Prídavkom organického hnojiva a organického hnojiva s NPK sa výrazne zvýšili výnosy pôdy, jej pH a taktiež aj obsah uhlíka, dusíka, fosforu a draslíka [37].

4. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

4.1. Prístroje použité pri meraní

- pH meter a kontuktometer *METTLER TOLEDO*
- UV/VIS spektrofotometer *HITACHI U-3900H*
- optický emisný spektrofotometer s indukčne viazanou plazmou *ULTIMA 2*
- Iónový chromatograf *PROFESSIONAL IC 850*

4.2. Použité chemikálie

- Kyselina akrylová (AA), Sigma-Aldrich spol. s.r.o.
- Methylen-bis-akrylamid (MBA), Sigma-Aldrich spol. s.r.o.
- Peroxydisulfát draselný p.a (KPS), FlukaAnalytical
- Lignohumát sodný (NaHK), Amagro s.r.o.
- Hydroxid draselný p.a. (KOH), ONEX CHEMIE s.r.o.
- Hnojivo NPK, Amagro s.r.o.

Jednotlivé zloženie hydrogéllov, ktoré boli použité sú zhrnuté v tabuľke 3.

Tab. 3: Zloženie xerogélu

| [hm %] | Vzorka A | Vzorka B | Vzorka C | Vzorka D | Vzorka H |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|
| AA | 25,7 | 23,3 | 25,2 | 22,9 | 25,7 |
| KOH | 8,6 | 7,8 | 8,4 | 7,7 | 8,6 |
| KPS | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| MBA | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| voda | 63,1 | 57,3 | 62 | 56,3 | 63 |
| NaHK | 0 | 0 | 1,8 | 1,6 | 1,8 |
| NPK | 1,2 | 11 | 1,2 | 10,6 | 0 |

4.3. Metodická časť

4.3.1. Postupné uvoľňovanie

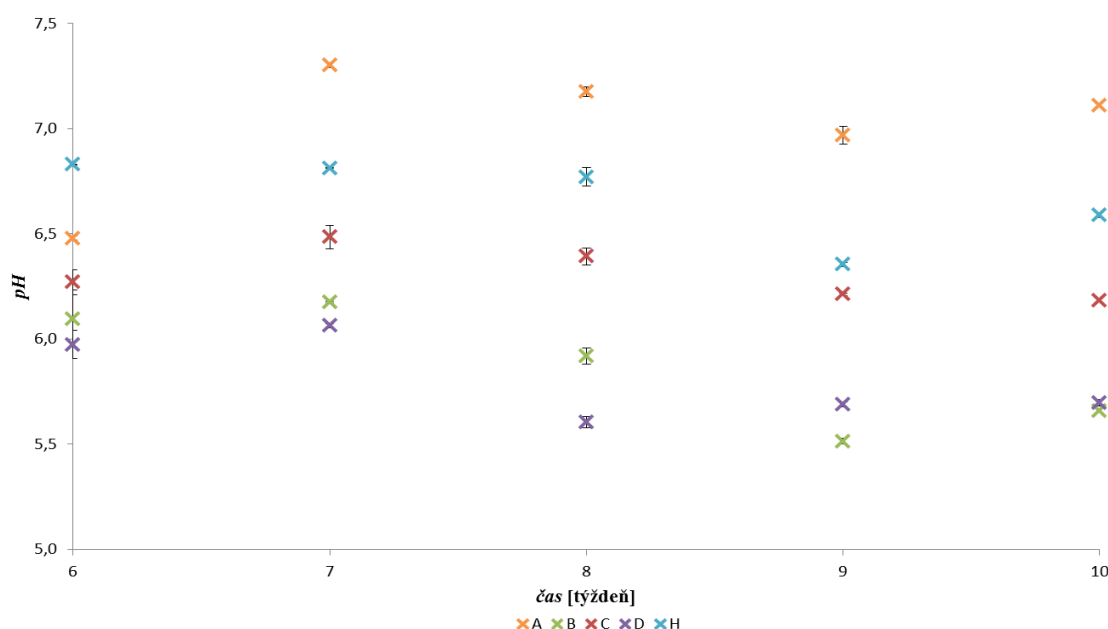
Pri zisťovaní postupného uvoľňovania látok do roztoku, sa navážilo 0,005 g xerogélu a ponoril sa do 100 ml MQ vody. Z každého xerogélu sa pripravilo po päť vzoriek. Po dobu šiestich týždňov sa nechali odstáť a po uplynutí tohto času sa každý týždeň odobrala časť vzorky z jednotlivých roztokov, ktorá sa podrobila meraniu. Meralo sa pH, vodivosť a absorbancia v UV/VIS oblasti. Toto meranie sa pri každej vzorke opakovalo trikrát. Pomocou optickej emisnej spektrofotometrie s indukčne viazanou plazmou (ICP-OES) a iónovej chromatografie (IC) sa zmeralo množstvo fosforu a draslíka a množstvo dusičnanových, síranových, chloridových a fosforečnanových iónov.

5. VÝSLEDKY A DISKUSIA

5.1. Meranie pH

Pri meraní pH pomocou pH metra sa zistilo množstvo hydroxidových a oxóniových iónov, ktoré sa vo vzorke nachádzali. Hodnoty jednotlivých výluhov sa pohybujú rôzne, väčšinou však v oblasti $\text{pH} < 7$. Jedine pri vzorke A sú hodnoty $\text{pH} > 7$. Čím viac iónov H^+ sa uvoľnilo do roztoku, tým je kyslejší.

Na obrázku 5 vidíme, že najnižšia hodnota 5,51 dosiahol výluh B vo štvrtom týždni merania (deviaty týždeň) a najvyššia hodnota 7,3 bola zaznamenaná pri vzorke A v druhom týždni merania (siedmy týždeň). Jednotlivé hodnoty rôzne klesajú a stúpajú. Pri vzorkách B a D, ktoré obsahovali väčšie množstvo hnojiva NPK, pozorujeme nižšie hodnoty pH v porovnaní s ostatnými. Môžeme teda usúdiť, že z NPK sa uvoľňovalo väčšie množstvo H^+ iónov, čo spôsobilo, že dané výluhy sú kyslejšie.



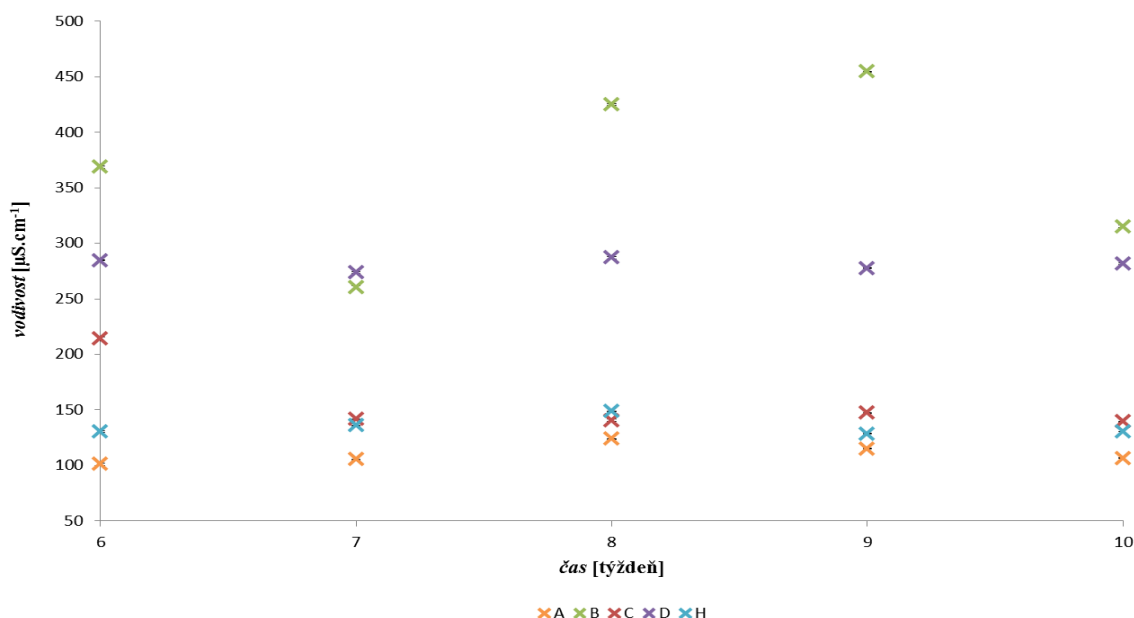
Obr. 5: Závislosť pH od času

5.2. Meranie vodivosti

Pripravené hydrogély postupne uvoľňovali do vody molekuly a ióny. Ich množstvo, nám pomohlo zistiť meranie vodivosti. Konkrétne ióny a ich množstvá uvoľnené do roztoku sme zistili meraním IC zhrnuté v kapitole 5.5. Pre jednotlivé hydrogély, sa teda päť týždňov merala vodivosť jednotlivých výluhov. Výsledky sú dosť premenlivé a nelineárne.

Na obrázku 6 si môžeme všimnúť, že hodnoty pri vzorke A, C, D a H sa skoro vôbec nemenia. Najväčšie zmeny pri meraní vodivosti sme zaznamenali pri vzorke B, najnižšiu hodnotu vodivosti mal výluh v druhom týždni merania (siedmy týždeň), najvyššiu vo štvrtom týždni (deviaty týždeň). Tieto rozdielnosti od ostatných štyroch vzoriek mohli byť spôsobené množstvom NPK, ktoré sa nachádzalo v hydrogéli.

NPK je jeden z hlavných zdrojov uvoľnených iónov, no pri vzorke D, ktorá tiež obsahovala veľké množstvo tohto hnojiva, sme nepozorovali až také výrazné výkyvy hodnôt ako pri vzorke B. Ak tieto vzorky porovnáme, vo vzorke D sa nachádza aj malé množstvo lignohumátu sodného oproti vzorke B v ktorej nie je. Táto prítomnosť lignohumátu v kombinácii s NPK mohla spôsobiť stabilnejšie uvoľňovanie iónov.

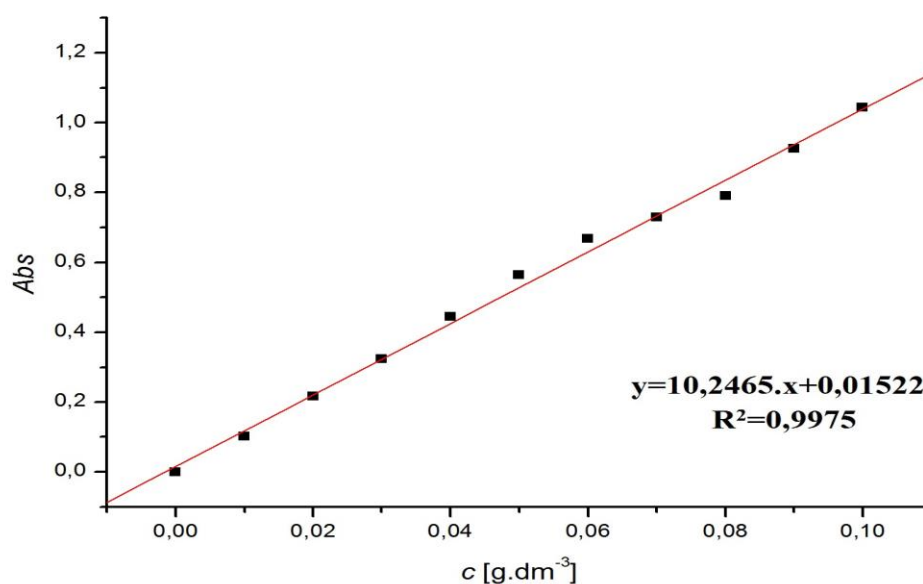


Obr. 6: Závislosť vodivosti od času

5.3. UV/VIS spektrofotometria

Po tom, čo sa zmerala vodivosť a pH výluhov, bolo premerané aj UV/VIS spektrum. Týmto meraním sa z každej vzorky zostavila krivka závislosti absorbancie na vlnovej dĺžke. Táto závislosť poukázala na množstvo uvoľnených látok z hydrogéllov, ktoré sme použili.

Pre stanovenie množstva uvoľnených látok z lignohumátu sodného (NaHK), boli merané štandardné vzorky. Výluh obsahoval rozpustené množstvo NaHK v MQ vode, pri rôznych koncentráciách : $0,1 \text{ g.l}^{-1}$, $0,09 \text{ g.l}^{-1}$, $0,08 \text{ g.l}^{-1}$, $0,07 \text{ g.l}^{-1}$, $0,06 \text{ g.l}^{-1}$, $0,05 \text{ g.l}^{-1}$, $0,04 \text{ g.l}^{-1}$, $0,03 \text{ g.l}^{-1}$, $0,02 \text{ g.l}^{-1}$ a $0,01 \text{ g.l}^{-1}$. Absorbancia bola meraná v rozsahu vlnových dĺžok 200–900 nm, čo sa zhoduje s rozsahom ako pri predošlých vzorkách. Z nameraných hodnôt absorbancie, bola zostavená kalibračná krivka (Obr. 7) pri vlnovej dĺžke 290 nm. Následne sa pomocou rovnice priamky vypočítali koncentrácie uvoľnených látok z každého výluhu, ktoré sú zhrnuté v tabuľke 4. Na obrázku 8 je zobrazená závislosť koncentrácie uvoľnených látok na čase. Týmto meraním je možné určiť množstvo uvoľnených látok hlavne z NaHK, ktorého výluh sa sfarbuje do žltohneda.



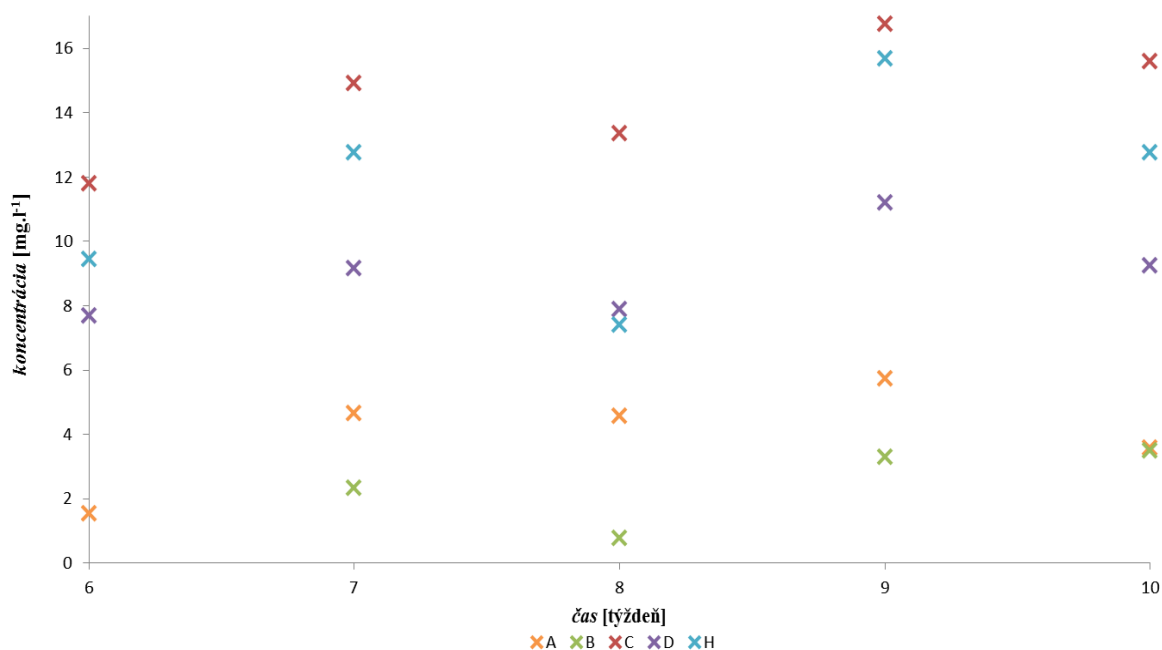
Obr. 7: Kalibračná krivka roztokov NaHK pri vlnovej dĺžke 290 nm

Tab. 4: Koncentrácia uvoľnených látok (NaHK) z výluhu pri vlnovej dĺžke 290 nm

| 290 nm | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| c (mg.l ⁻¹) | čas [týždeň] | 0 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Vzorka A | 0 | 1,54 | 4,66 | 4,57 | 5,74 | 3,58 |
| | Vzorka B | 0 | – | 2,32 | 0,76 | 3,30 | 3,49 |
| | Vzorka C | 0 | 11,79 | 14,91 | 13,35 | 16,76 | 15,59 |
| | Vzorka D | 0 | 7,69 | 9,15 | 7,88 | 11,20 | 9,25 |
| | Vzorka H | 0 | 9,44 | 12,76 | 7,40 | 15,69 | 12,76 |

Krivky, ktoré sú zobrazené na obrázku č.8 postupom času nestúpali lineárne ako by sa dalo predpokladať. Najväčší nárast uvoľnených látok bol pozorovaný pri vzorke C vo štvrtom týždni merania (deviaty týždeň). Najnižšie namerané hodnoty boli zaznamenané vo výluhu vzorky B v treťom týždni merania (ôsmy týždeň). Koncentrácia vzorky B v prvom týždni merania bola pod hranicou detekcie.

Závislosť vzoriek A a B sú v oblasti nižších koncentrácií a to z dôvodu, že NaHK sa v týchto vzorkách nenachádzala. Vzorky výluhov C a D majú približne rovnaký priebeh len v iných oblastiach koncentrácií. Ak sa pozrieme na závislosť vzorky H, v treťom týždni merania (ôsmy týždeň) došlo k výraznému poklesu koncentrácie, pričom vzorky C a H v sebe mali rovnaké množstvo NaHK. Je možné, že mohlo dôjsť k spätnej sorpcii na povrch hydrogélovej štruktúry.

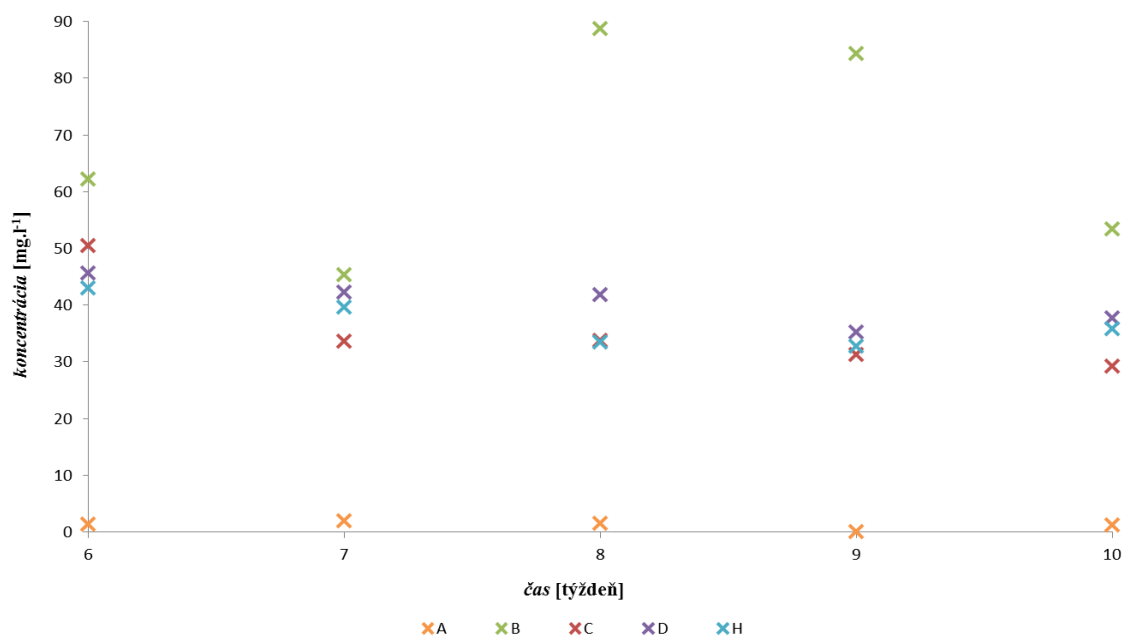


Obr. 8: Množstvo uvoľnených látok v čase pri vlnovej dĺžke 290 nm

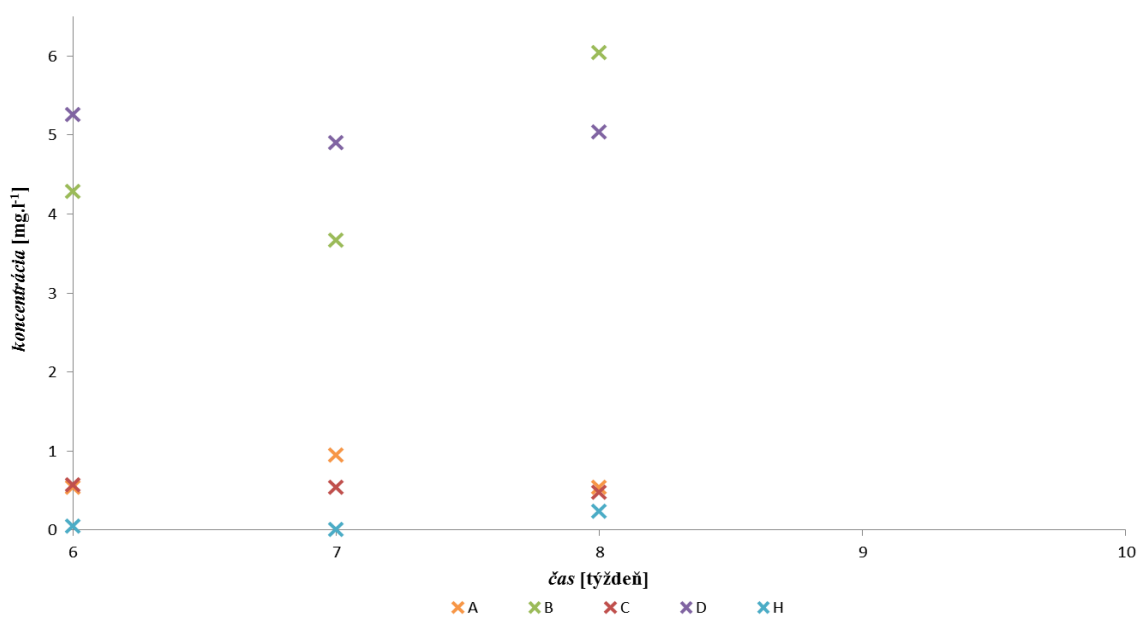
5.4. ICP-OES

Využitím optického emisného spektrometra s indukčne viazanou plazmou sa stanovilo množstvo uvoľnených prvkov, konkrétne draslíka a fosforu. Tieto dva prvky patria medzi základné a veľmi dôležité výživové prvky pre rastlinu. Z toho dôvodu je potrebné aby sa z hydrogélů uvoľňovali čo najlepšie a vo vyšších množstvách. Na meranie bola odovzdávaná z každej vzorky jedna skúmavka s výluhom. Množstvo uvoľneného draslíka vo vzorke je znázornený na obrázku 9 a množstvo uvoľneného fosforu na obrázku 10.

Vo vzorkách B a D sa nachádza veľké množstvo NPK, čo odpovedá aj vysokému obsahu K a P. Prítomnosť dusíka však vykazuje aj vzorka H, v ktorej sa nenachádzal žiadny podiel NPK, takže môžeme usúdiť, že K sa mohol vylúčiť aj z NaHK. To však neplatí pri obsahu P, ktorý sa zo vzorky H takmer vôbec neuvoľnil. Vo vzorke A sa uvoľnilo len veľmi malé množstvo dusíka aj fosforu. Bohužiaľ, množstvo uvoľneného fosforu je zaevidované len prvé tri týždne merania, takže nemôžeme zhodnotiť jeho uvoľňovanie po celú dobu piatich týždňov.



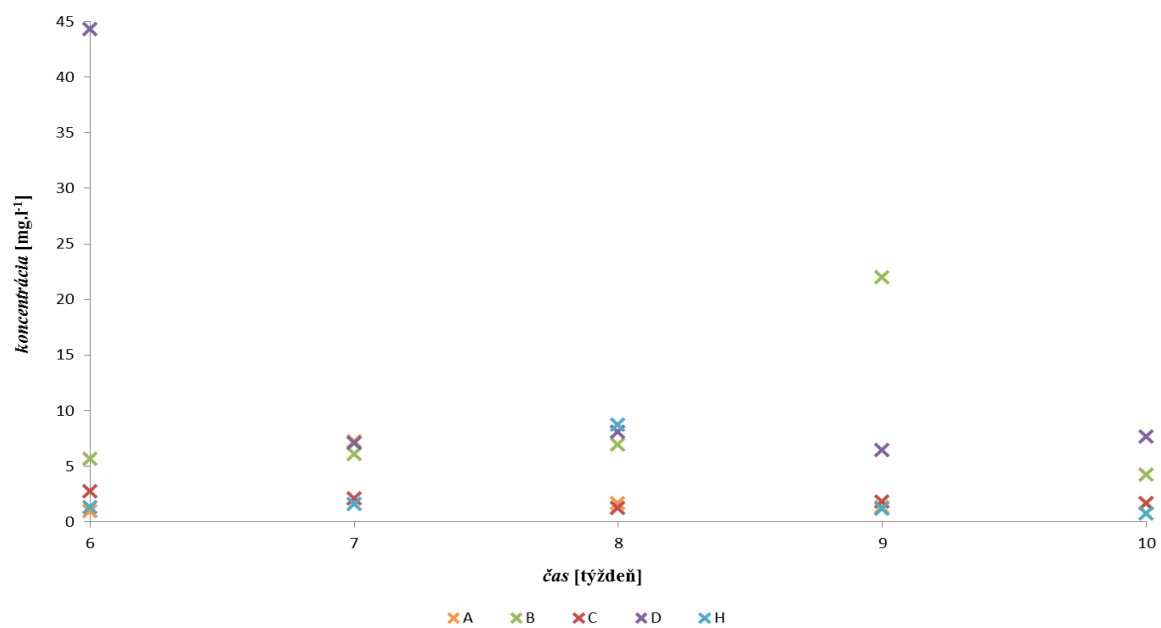
Obr. 9: Množstvo uvoľneného draslíka vo výluhu



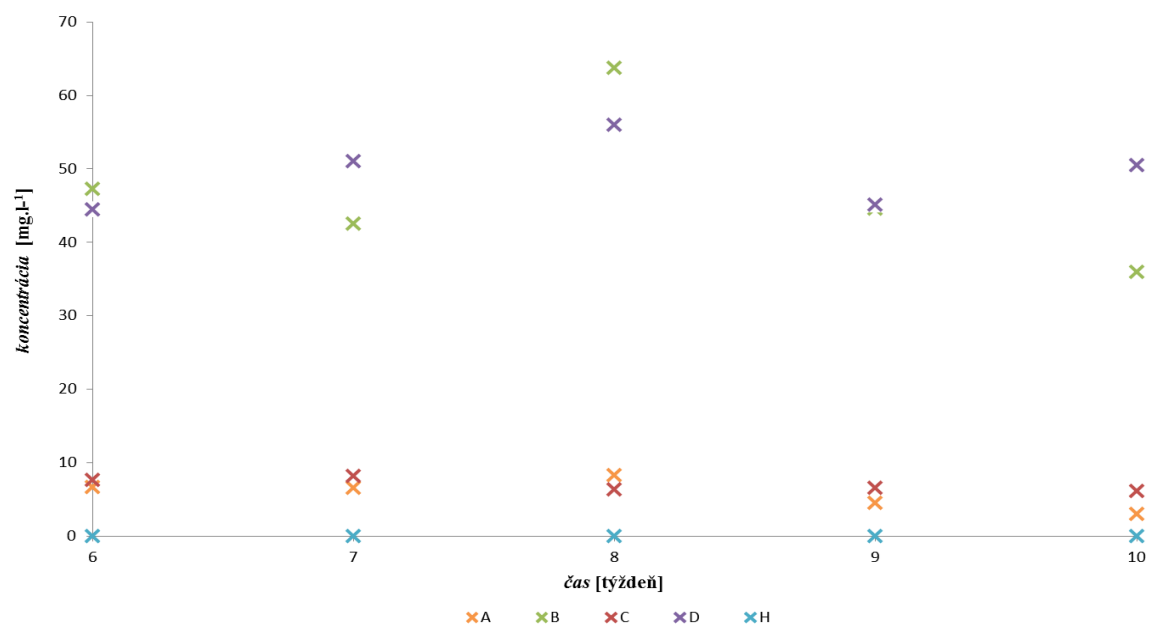
Obr. 10: Množstvo uvoľneného fosforu vo výluhu

5.5. Iónová chromatografia

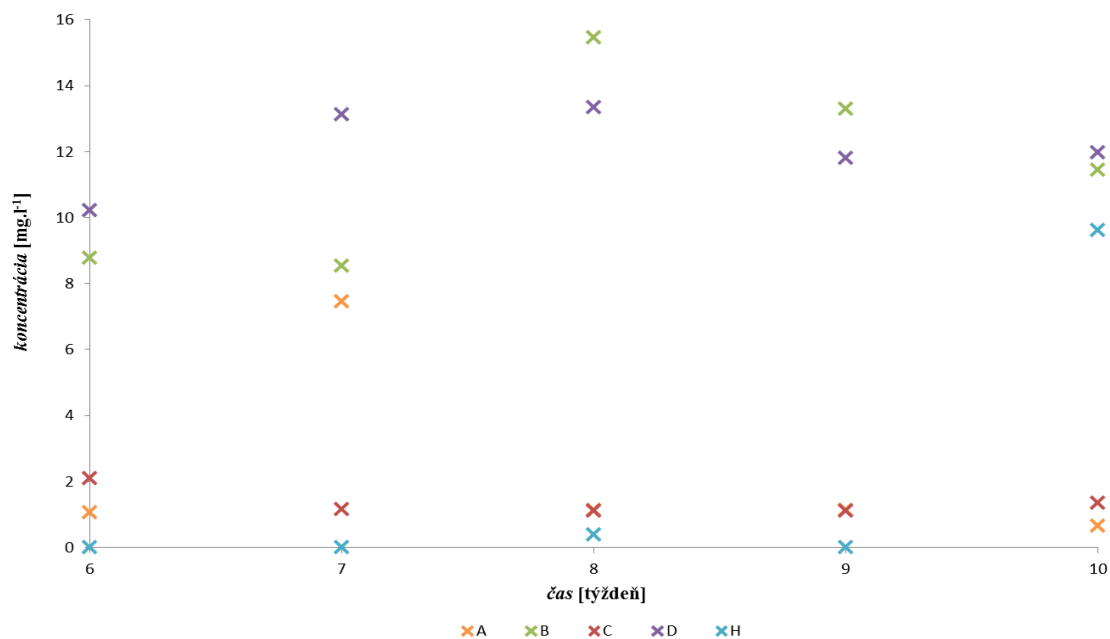
Výluhy obsahovali isté množstvá iónov, ktoré sa stanovovali pomocou iónovej chromatografie. Hydrogély uvoľňovali do vody chloridy Cl^- , dusičnany NO_3^- , fosforečnany PO_4^{3-} a sírany SO_4^{2-} . Množstvo iónov, ktorých koncentrácia sa menila v čase boli merané v mg.l^{-1} . Závislosť množstva jednotlivých iónov sú zobrazené na obr. 11–14. Koncentrácie iónov sa pohybovali v jednotkách aj desiatkách mg.l^{-1} .



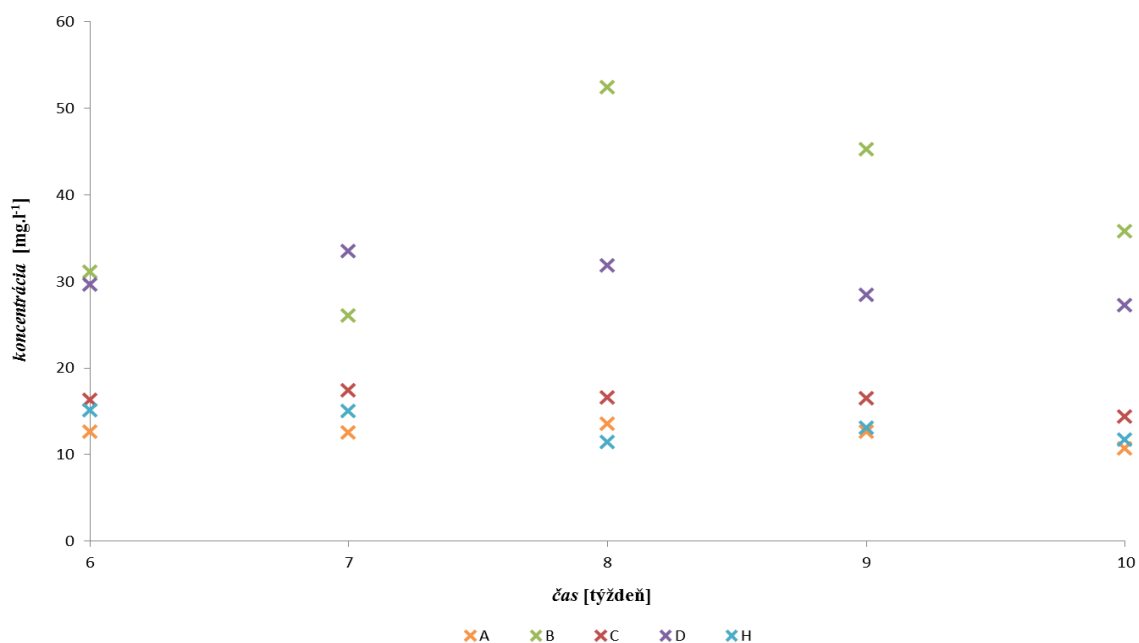
Obr. 11: Množstvo uvoľnených chloridov vo výluhu



Obr. 12: Množstvo uvoľnených dusičnanov vo výluhu



Obr. 13: Množstvo uvoľnených fosforečnanov vo výluhu



Obr. 14: Množstvo uvoľnených síranov vo výluhu

Najväčšie množstvo iónov uvoľnené z daných hydrogélů sa vylúčilo zo vzoriek B a D. Chloridy sa najviac uvoľnili v prvom týždni merania (šiesty týždeň) zo vzorky D. Naopak množstvo dusičnanov, fosforečnanov a síranov bolo najviac uvoľnených v treťom týždni (ôsmy týždeň) v hydrogély B. Pri ostatných druhoch pozorujeme približne rovnaké uvoľňovanie iónov.

Zaujímavé je, že pri uvoľňovaní fosforečnanov pri vzorke H, bola približná hodnota vylúčených iónov rovná jednej, no v poslednom týždni merania sa zvýšila na hodnotu 9,63 mg.l⁻¹.

6. ZÁVER

V tejto práci boli skúmané humínové preparáty na báze superabsorpčných polymérov. Cieľom práce bolo presvedčiť sa či tieto produkty, pripravované v rámci zmluvného výskumu FCH VUT v Brne s priemyslovým partnerom, môžu byť použité ako nosiče aktívnych látok s riadeným uvoľňovaním. Počas experimentu bolo skúmané, či sú hydrogély schopné zo svojej štruktúry postupne uvoľňovať tak prírodný humínový preparát, ako je lignohumát, tak aj bežne používané syntetické hnojivo NPK. V práci sa využilo viacero metód na stanovenie obsahu uvoľnených látok z hydrogélů. Pripravilo sa päť vzoriek z piatich druhov hydrogélů a sledovali sa zmeny, ktoré nastali v jednotlivých roztokoch. Pri meraní pH sa zistilo, že do roztoku sa uvoľnilo väčšie množstvo H^+ iónov a roztoky teda boli väčšinou kyslé. S najväčšou pravdepodobnosťou sú za to zodpovedné kyslé funkčné skupiny v štruktúre lignohumátu. Najväčšia vodivosť bola nameraná pri vzorkách B a D, ktoré obsahujú veľké množstvo hnojiva NPK. Pri týchto dvoch vzorkách pozorujeme najnižšie hodnoty pH. Väčšina meraní nám poukazuje na to, že najväčší vplyv na uvoľňovanie látok má množstvo NPK v hydrogélůch. Pri meraní vzoriek pomocou spektrofotometra pri vlnovej dĺžke 290 nm bolo najviac látok uvoľnených z výluhov, ktoré patrili vzorkám C a H. Z merania iónovej chromatografie sa zistilo, že najviac sa z humínových látok uvoľňujú dusičnany a sírany. Tieto látky vykazujú veľký predpoklad k tomu, že sa budú môcť využívať v bežnej poľnohospodárskej praxi a to s ohľadom na konkrétne plodiny, ktorým môže byť prispôbená výsledná receptúra.

7. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] David, Jan. *Humínové látky – budúcnosť „zelené“ chémie ?*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 02. 02. 2011 [online]. 2011. Dostupné na [www: http://www.chempoint.cz/huminove-latky](http://www.chempoint.cz/huminove-latky)
- [2] Pettit, Dr. Robert E., *Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health*. Dostupné na [www: http://www.humates.com/pdf/ORGANICMATTERPettit.pdf](http://www.humates.com/pdf/ORGANICMATTERPettit.pdf)
- [3] Szanyi, Ing. Gejza, *Poznatky o humínových kyselinách*. Dostupné na [www: http://www.vetservis.sk/media/object/368/poznatky_o_huminovych_kyselinach.pdf](http://www.vetservis.sk/media/object/368/poznatky_o_huminovych_kyselinach.pdf)
- [4] *The Value of Humic Substances in the Carbon Lifecycle of Crops: Humic Acids, Fulvic Acids, and Beyond*, 12. 05. 2016. Dostupné na [www: http://news.agropages.com/News/NewsDetail---20312.htm](http://news.agropages.com/News/NewsDetail---20312.htm)
- [5] Toth, Ing. Stefan a kol., *Humínové látky, základ účinnosti rôznych kondicionérov na báze uhlíka*. Centrum výskumu rastlinnej výroby, Výskumný ústav agroekológie Michalovce. Dostupné na [www: http://humac-portal.eu/wp-content/uploads/2015/08/HUMAC-Agro_Part-4.pdf](http://humac-portal.eu/wp-content/uploads/2015/08/HUMAC-Agro_Part-4.pdf)
- [6] Černeková, MVDr. Danica, Pospíšilová, Ing. Ľudmila, *Humínové kyseliny a ich vplyv na úrodnosť a znižovanie chemického zaťaženia pôd*. VETSERVIS, s.r.o., Nitra. Dostupné na [www: http://humac-portal.eu/wp-content/uploads/2015/08/HUMAC-Agro_Part-2.pdf](http://humac-portal.eu/wp-content/uploads/2015/08/HUMAC-Agro_Part-2.pdf)
- [7] Vaško, L., Vajda, V. *Humínové kyseliny vo výžive a ich vplyv na metabolizmus a produkčné zdravie*, Univerzita veterinárneho lekárstva Košice; dostupné na: http://www.vetservis.sk/media/object/364/huminove_kyseliny_vo_vyzive_a_ich_vplyv_na_metabolizmus_a_produkcne_zdravie.pdf
- [8] *Humínové kyseliny – chýbajúce puto zdravej výživy*. Dostupné na [www: http://www.detoxikacia-organizmu.com/huminove-kyseliny/](http://www.detoxikacia-organizmu.com/huminove-kyseliny/)
- [9] *Čo sú to humínové látky*. 29. 01. 2016. HumAGRO HUMIC SUBSTANCES. Dostupné na [www: http://humagro.sk/2016/01/29/co-su-to-huminove-latky/](http://humagro.sk/2016/01/29/co-su-to-huminove-latky/)
- [10] Sultan, S.A., *Humic Acid's Role in Improving Soil Quality and Plant Growth*, Published on March 9, 2016. Dostupné na [www: https://www.linkedin.com/pulse/humic-acids-role-improving-soil-quality-plant-growth-syed-arif-sultan](https://www.linkedin.com/pulse/humic-acids-role-improving-soil-quality-plant-growth-syed-arif-sultan)

- [11] Vaško, Doc. MVDr. Ladislav, *Účinok prírodných humínových kyselín - HUMAC Agro - na pôdu a rastliny*. Košice, 30. 07. 2013. Dostupné na www: http://humac-portal.eu/wp-content/uploads/2015/08/HUMAC-Agro_Part-3.pdf
- [12] Chrástová, V., Borsig, E. *Makromolekulová chémia*. 1.vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 1996. 156s, ISBN 80-227-0920-4.
- [13] Kamenár, Š., Beniská, J., Hrivík, A. *Výroba polymérov*, 1.vyd, Evidenčné stredisko SVŠT v Bratislave, 1989, 255s, ISBN 80-227-0070-3.
- [14] Kalhapure, A., Kumar, R., Singh, V.P., Pandez, D.S. *Hydrogels: a boon for increasing agricultural productivity in water stressed enviroment*. Current Science, vol. 111, no. 11, 10. December 2016. Dostupné na www: [http://www.currentscience.ac.in/Volume s/111/11/1773.pdf](http://www.currentscience.ac.in/Volume%2Fs/111/11/1773.pdf)
- [15] Rudzinski, W.E., Dave, A.M., Vaishnav, U.H., Kumbar, S.G., Kulkarni, A.R., Aminabhavi, T.M.; *Hydrogels as controlled release devices in agriculture*. Designed Monomers and Polymers, Vol.5, No.1, pp.39-65 (2002).
- [16] SÁROVÁ, Michaela. *Transportní vlastnosti huminových gelů*. Brno, 2015. Bakalár-ska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav fyzikální a spotřební chemie.
- [17] Komers, K., *Základy koloidní chemie*, Univerzita Pardubice, fakulta chemicko-technologická, katedra fyzikální chemie, Pardubice 1996, str.1.
- [18] Pouchlý,J., *Fyzikální chemie makromolekulárních a koloidních soustav*, Fakulta chemicko-inženýrská, Vydavatelství VŠCHT, Praha 1998.
- [19] Novák, P. a kolektiv, *Fyzikální chemie II*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta chemicko-inženýrská, Praha 2001, str.314-317.
- [20] Marcos R. Guilherme, Fauze A. Aouada, André R. Fajardo, Alessandro F. Martins, Alexandre T. Paulino, Magali F.T. Davi, Adley F. Rubira, Edvani C. Muniz, *Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrie*. European Polymer Journal, Volume 72, November 2015, Pages 365–385.
- [21] Akelah, A., *Polymers in Plantation and Plants Protecion*, Funkcionalized polymeric materials in agriculture and the food industry. Springer US, ISBN 978-1-4614-7061-8 pp. 65-131.

- [22] Narjary, B., Aggarwal, P., Kumar, S., Meena, M.D.; *Significance of hydrogel and its application in agriculture*. Indian Farming 62(10): 15-17, January 2013. Dostupné na [www: https://www.researchgate.net/profile/Bhaskar_Narjary/publication/256086562_Significance_of_Hydrogel_and_its_application_in_agriculture/links/00b4952186d7e4fe73000000/Significance-of-Hydrogel-and-its-application-in-agriculture.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Bhaskar_Narjary/publication/256086562_Significance_of_Hydrogel_and_its_application_in_agriculture/links/00b4952186d7e4fe73000000/Significance-of-Hydrogel-and-its-application-in-agriculture.pdf)
- [23] Rady a tipy pro výběr travníkového hnojiva, 5 10. 2014, Dostupné na [www: http://www.rosmarinus.cz/rady-a-tipy-pro-vyber-travnikoveho-hnojiva/](http://www.rosmarinus.cz/rady-a-tipy-pro-vyber-travnikoveho-hnojiva/)
- [24] Hydrogels. Dostupné na [www: http://www.oyenlab.org/wp-content/uploads/2013/07/gel-structures1.jpg](http://www.oyenlab.org/wp-content/uploads/2013/07/gel-structures1.jpg)
- [26] Francesco F. Montesano. Angelo Parente. Alessandro Sannino., *Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth*. Agriculture and Agricultural Science Procedia Volume 4, 2015, Pages 451-458.
- [27] Trenkel, M.E., *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture*, Publisher by the international fertilizer industry association, Paris, 1997, ISBN 2-9906299-0-3. Dostupné na [www: http://www.wnkgroup.cn/Controlled-Release%20ofertilizer%20in%20Agriculture.pdf](http://www.wnkgroup.cn/Controlled-Release%20ofertilizer%20in%20Agriculture.pdf)
- [28] Dubský, Ing. M., Šrámek, RNDr. F., *Hnojiva s řízeným uvoňováním a jejich využití při pěstování dřevin v kontejnerech*, VÚKOZ Píluhonice, 17. 03. 2005. Dostupné na [www: http://zahradaweb.cz/hnojiva-s-rizenym-uvolnovanim-a-jejich-vyuziti-pri-pestovani-drevin-v-kontejnerech/](http://zahradaweb.cz/hnojiva-s-rizenym-uvolnovanim-a-jejich-vyuziti-pri-pestovani-drevin-v-kontejnerech/)
- [29] Kuric, Ing. Ivan, *Výživa a hnojenie*, Pomôcka pre ZO SZZ, Kysucké Nové Mesto 2012. Dostupné na [www: http://www.skalice.sk/e_download.php?file=data/editor/212sk_4.pdf&original=Vyziva_a_hnojenie.pdf](http://www.skalice.sk/e_download.php?file=data/editor/212sk_4.pdf&original=Vyziva_a_hnojenie.pdf)
- [30] Hnojiva. Dostupné na [www: http://chemie-kvarta.wz.cz/hnojiva.html](http://chemie-kvarta.wz.cz/hnojiva.html)
- [31] Univerzálné hnojivo NPK. AGRO CS, a.s. Slovakia. Dostupné na [www: http://www.agrocs.sk/produkt/univerzalne-hnojivo-npk/](http://www.agrocs.sk/produkt/univerzalne-hnojivo-npk/)
- [32] Úrad vlády České republiky – Rada vlády pro udržitelný rozvoj. *Situační zpráva ke Strategickému rámci udržitelného rozvoje České republiky*. Praha 2016. Dostupné na [www: https://www.vlada.cz/assets/ppov/udrzitelny-rozvoj/dokumenty/Situacni-zprava-a-ke-Strategickemu-ramci-udrzitelneho-rozvoje-CR-2016.pdf](https://www.vlada.cz/assets/ppov/udrzitelny-rozvoj/dokumenty/Situacni-zprava-a-ke-Strategickemu-ramci-udrzitelneho-rozvoje-CR-2016.pdf)
- [33] Mládková, Ing. Anna a kol., *Zemědělství 2015*. Ministerstvo zemědělství. Praha 2016. Publikace 13. 7. 2016. ISBN 78-80-7434-292-9. Dostupné na [www: http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/vyrocní-a-hodnotící-zpravy/publikace-zemedelstvi/](http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/vyrocní-a-hodnotící-zpravy/publikace-zemedelstvi/)

- [34] Jarosiewicz, A., Tomasyewska, M., *Use of Polysulfone in Controlled-Release NPK Fertilizer Formulations*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002, 50, p.4634-4639. Dostupné na www: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf0116808>
- [35] Jarosiewicz, A., Tomasyewska, M., *Controlled-Release NPK Fertilizer Encapsulated by Polymeric Membranes*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003, 51, p.413-417. Dostupné na: www: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf020800o>
- [36] Sharif, M., Ahmad, M., Sarir, M.S., *Effect of organic and inorganic fertilizers on the yield and components of maize*. Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering Veterinary Sciences. Dostupné na www: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PK2006000057>
- [37] Zhong, W., Gu, T., Wang, W. a kol. *The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity*. Plant Soil (2010). Vol.326, Issue 1, pp.511-522. Dostupné na www: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-9988-y>

8. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

8.1. Zoznam použitých skratiek

| Skratka | Význam skratka |
|---------|---|
| HL | humínové látky |
| HK | humínové kyseliny |
| FK | fulvónové kyseliny |
| C | uhlík |
| O | kyslík |
| H | vodík |
| N | dusík |
| NP | dvojjložkové hnojivo zložené z dusíka a fosforu |
| NK | dvojjložkové hnojivo zložené z dusíka a draslíka |
| PK | dvojjložkové hnojivo zložené z fosforu a draslíka |
| NPK | trojjložkové hnojivo zložené z dusíka, fosforu a draslíka |
| PMMA | polymetylmetakrylát |
| PSF | polysulfón |
| PAN | polyakrylnitril |
| CA | acetát celulózy |
| UV | ultrafialová oblasť spektra elektromagnetického žiarenia |
| VIS | viditeľná oblasť spektra elektromagnetického žiarenia |
| ICP-OES | optický emisný spektrometer s indukčne viazanou plazmou |
| IC | iónový chromatograf |
| AA | kyselina akrylová |
| MBA | metylen-bis-akrylamid |
| KPS | peroxydisulfát draselný |
| NaHK | lignohumát sodný |
| KOH | hydroxid draselný |

8.2. Zoznam použitých symbolov

| Symbol | Význam symbolu | jednotka |
|--------|--------------------------|--------------------|
| Q | Stupeň napučania | - |
| M_r | hmotnosť napučaného gélu | kg |
| M_0 | počiatočná hmotnosť gélu | kg |
| ρ | hustota | kg.m^{-3} |
| V | objem kvapaliny | m^3 |

9. PRÍLOHA

9.1. Použité prístroje

- pH meter a kontuktometer *METTLER TOLEDO*



- UV/VIS spektrofotometer *HITACHI U-3900H*



- ICP optický emisný spektrofotometer *ULTIMA 2*



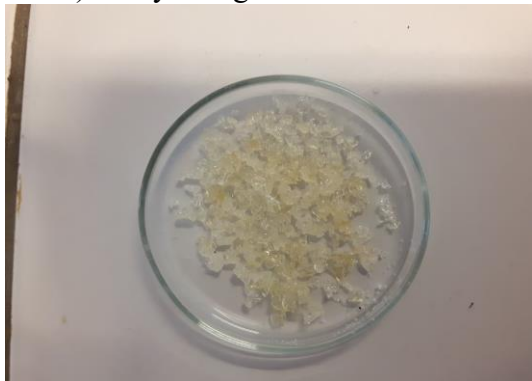
- Iónový chromatograf *PROFESSIONAL IC 850*



9.2. Vzorky použitých xerogélů

- Vzorka A

a) suchý xerogél

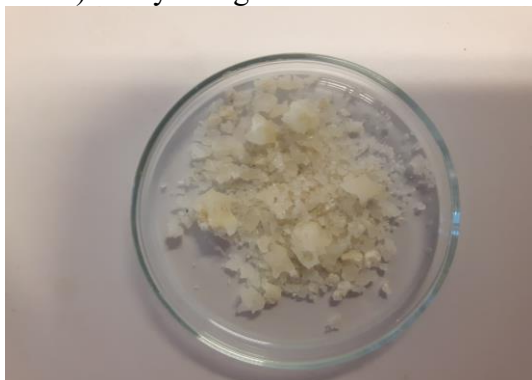


b) napučený lyogél



- Vzorka B

a) suchý xerogél



b) napučený lyogél



- Vzorka C

a) suchý xerogél



b) napučený lyogél



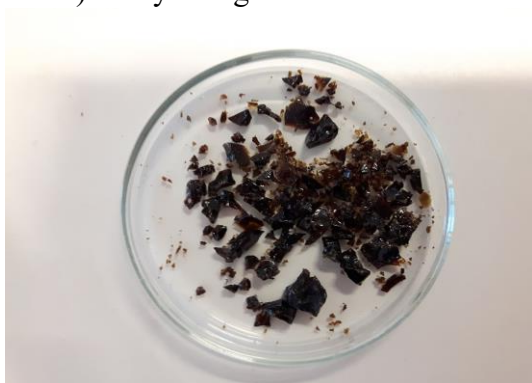
- Vzorka D
a) suchý xerogél



- b) napučený lyogél



- Vzorka H
a) suchý xerogél



- b) napučený lyogél

